国家科技基础条件平台 National Science & Technology Infrastructure
中国腐蚀与防护网 China Gateway to Corrosion and Protection
国家材料腐蚀与防护科学数据中心
搜索关键词 搜索
首页 (/) > 导航 > 防护技术 (/dhTJDAOHANG/fhjs/) > 技术应用 (/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/)

# 中国超临界CO2管道输送技术进展及展望

2024-12-06 14:04:53 作者：油气储运 来源：腐蚀与防护 分享至：

微信 “随手扫一扫，腐蚀数据海量来” 欢迎关注“中国腐蚀与防护网”官方微信

随着“双碳”目标任务持续推进，中国的碳捕集、利用与封存（CCUS）作为实现大规模碳减排的托底技术迅速发展，作为CCUS产业链中连接上下游的关键环节——CO2管道工程建设也迎来了黄金发展机遇。然而，中国CO2管道工程建设起步较晚，为了推动中国CO2管道工程建设与发展，亟待对CO2管道输送关键难题与核心技术开展系统攻关，并系统建立CO2管道输送技术标准体系。

## 1 中国$CO_2$管道工程发展现状

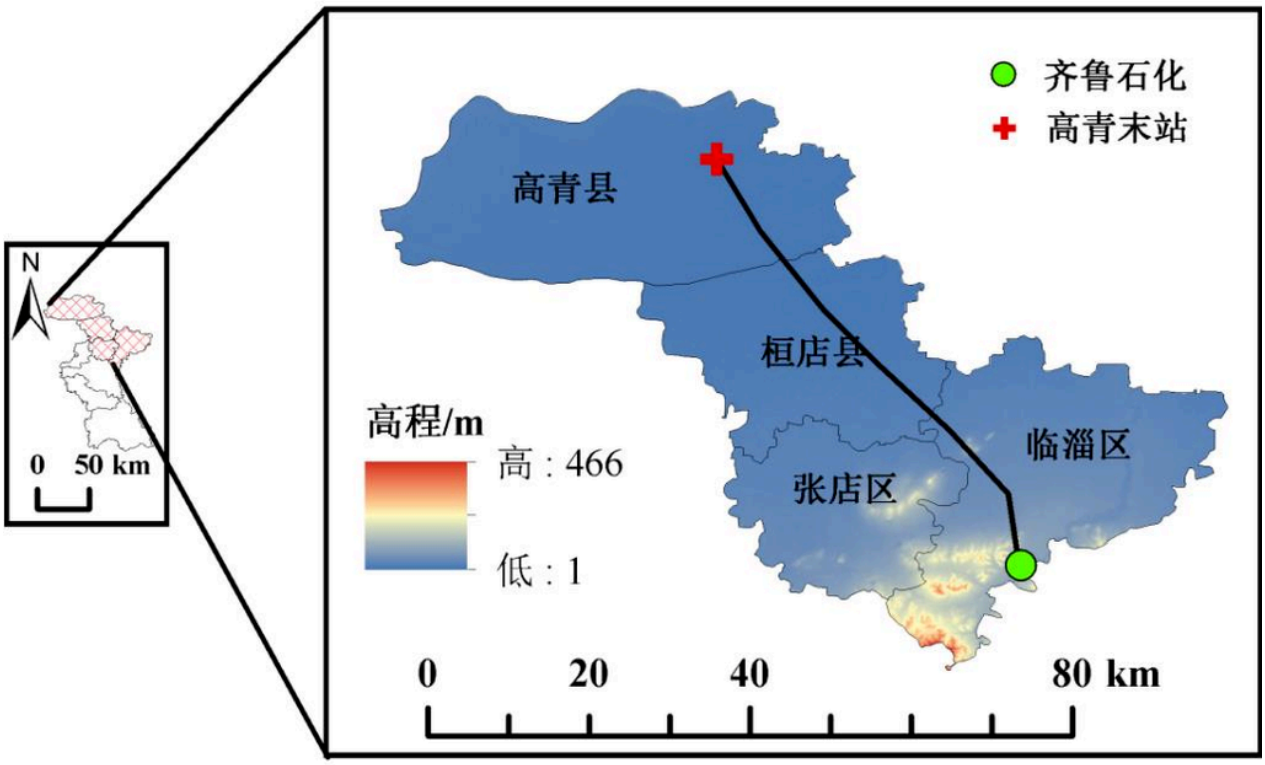
相比国外已有近万千米$CO_2$管道而言，中国$CO_2$管道建设起步较晚，过去几十年仅有大庆油田、吉林油田$CO_2$驱油示范工程的短距离、气态或液态$CO_2$管道成功建设运行。

**表1 中国$CO_2$管道工程建设情况统计表（2023年）**

| 管道名称 | 所属单位 | 输气量/（$10^4$ t·a$^{-1}$） | 管道长度/km | 建成时间 | 输送工艺 |
|---|---|---|---|---|---|
| 齐鲁石化—胜利油田 | 胜利油田 | 100 | 109 | 2023 | 密相 |
| 正宁电厂—长庆油田 | 长庆油田 | 150 | 98 | 待建 | 超临界 |
| 大庆石化—大庆油田 | 大庆油田 | 140 | 127 | 待建 | 超临界 |
| | | 60 | 15 | 待建 | 超临界 |
| 吉林石化—吉林油田 | 吉林油田 | 410 | 127 | 待建 | 超临界 |
| | | 330 | 131 | 待建 | 超临界 |
| | | 80 | 115 | 待建 | 超临界 |
| 正理庄油田 $CO_2$ 管道 | 胜利油田 | 50 | 8 | 2008 | 气态 |
| 长深 4—黑 59 $CO_2$ 管道 | 大庆油田 | 10 | 13.8 | 2013 | 气态 |
| 徐深 9—树 101 联合站 $CO_2$ 管道 | 大庆油田 | 4.8 | 20 | 2013 | 气态 |
| 徐深 9—芳 48 $CO_2$ 管道 | 大庆油田 | 7 | 5-6 | 2009 | 液态 |
| 榆树林液态 $CO_2$ 管道 | 华东石油局 | — | 5.4×2 | 2004 | 液态 |

公众号 · 管家方

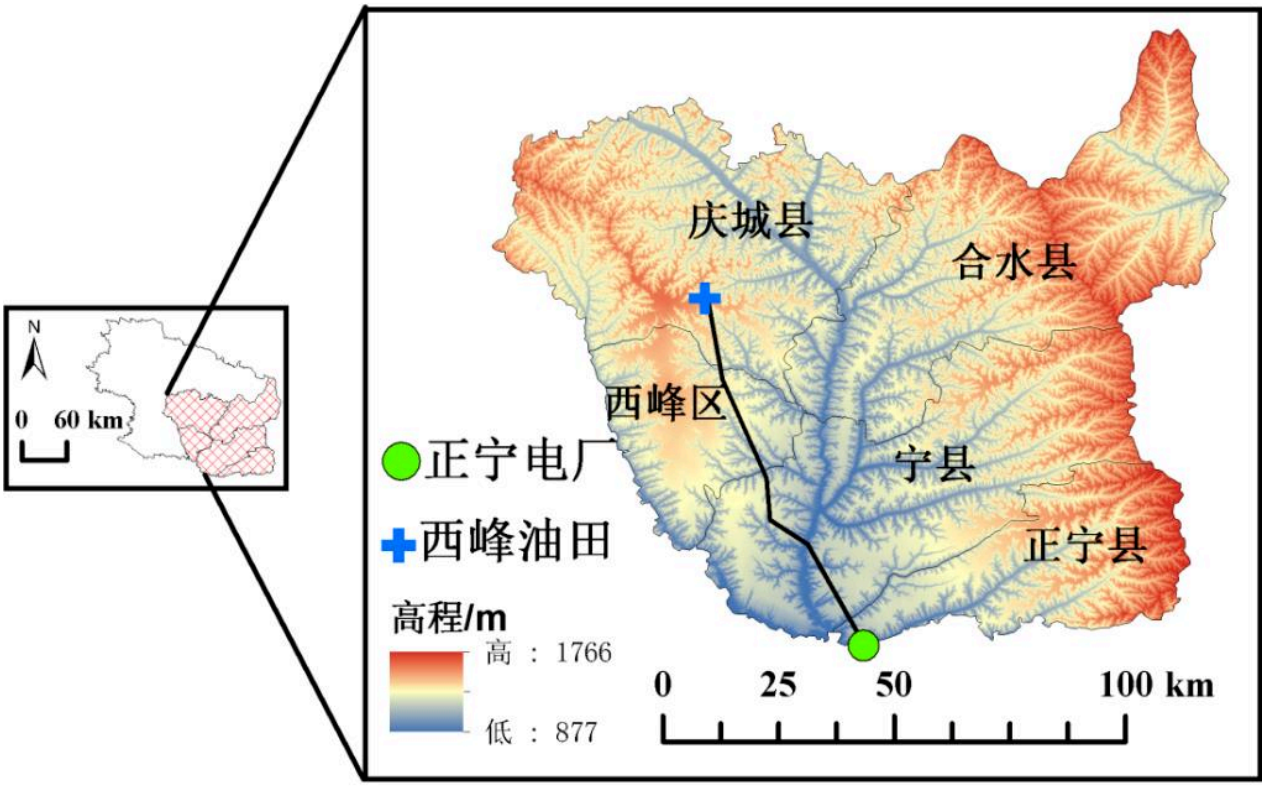
(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/defe513ae233821446609910 58a49ef4.jpg) 中国首个百万吨级CCUS示范项目——齐鲁石化-胜利油田CCUS项目已经投产运行。该管道全长约109 km，管径300 mm，采用L360管线钢管，设计压力12 MPa，设计输量100万t/a，从齐鲁石化首站途经稷下阀室、凤凰阀室、起凤阀室、荆家阀室、高城阀室至高青末站（图1）。该管道的成功投产，标志我国工业规模$CO_2$管道正式进入百公里、百万吨的“双百”行列。




(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/cab1160f604b494951b3fa7c0127735e.jpg)

**图1 齐鲁石化-胜利油田$CO_2$管道走势图**

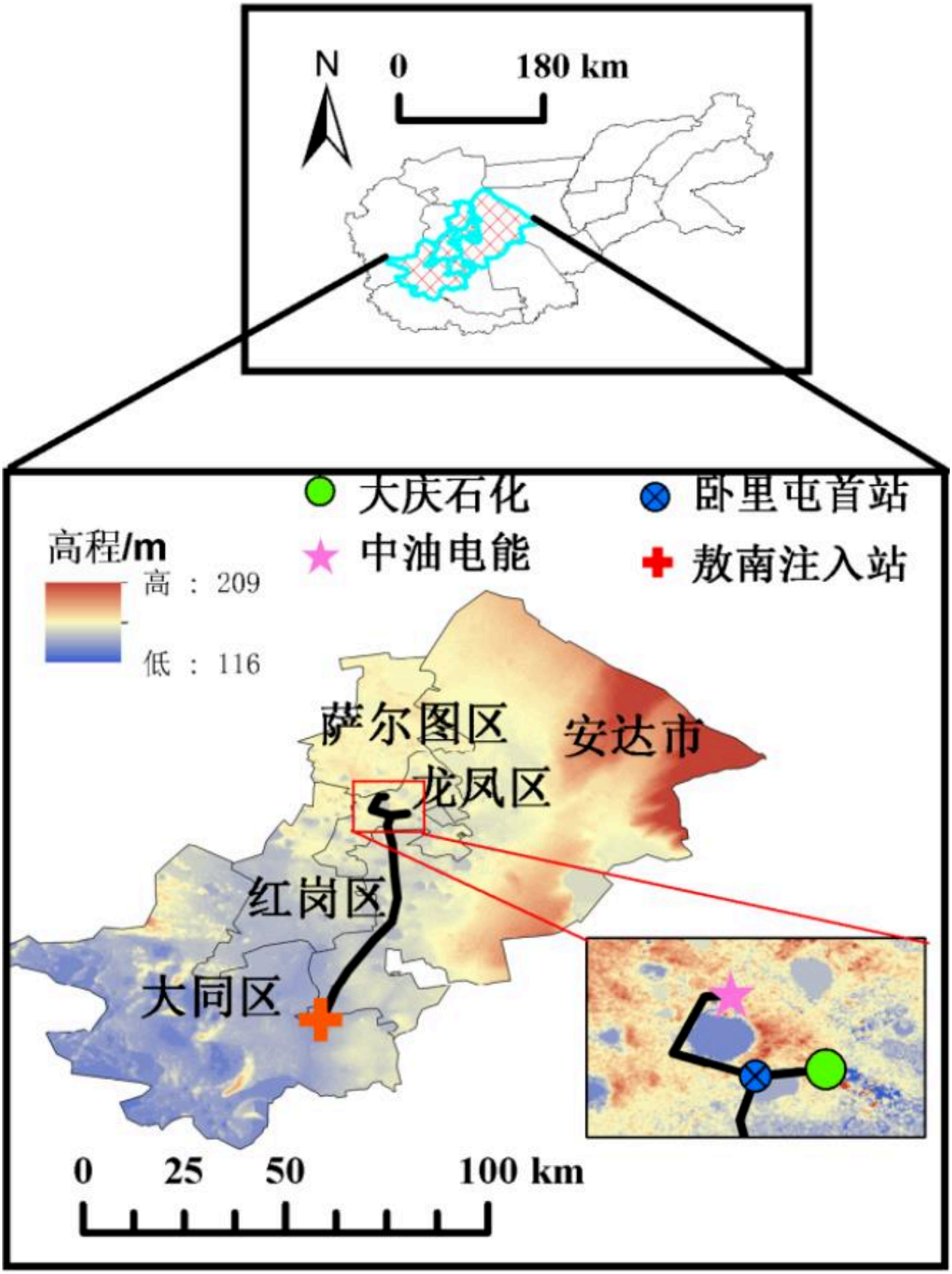
长庆油田$CO_2$管道项目始于正宁电厂，止于长庆油田西峰油田（图2），线路全长约98 km，管输介质为体积分数99.99%的高纯超临界$CO_2$，管径300 mm，设计压力12 MPa，进口温度40 ℃，设计输量150万t/a，设首站1座、末站1座，沿线设置阀室6座。




(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/3fbcf8330f441dcb8b0a4731248bf0aa.jpg)

**图2 正宁电厂-长庆油田$CO_2$管道走势图**

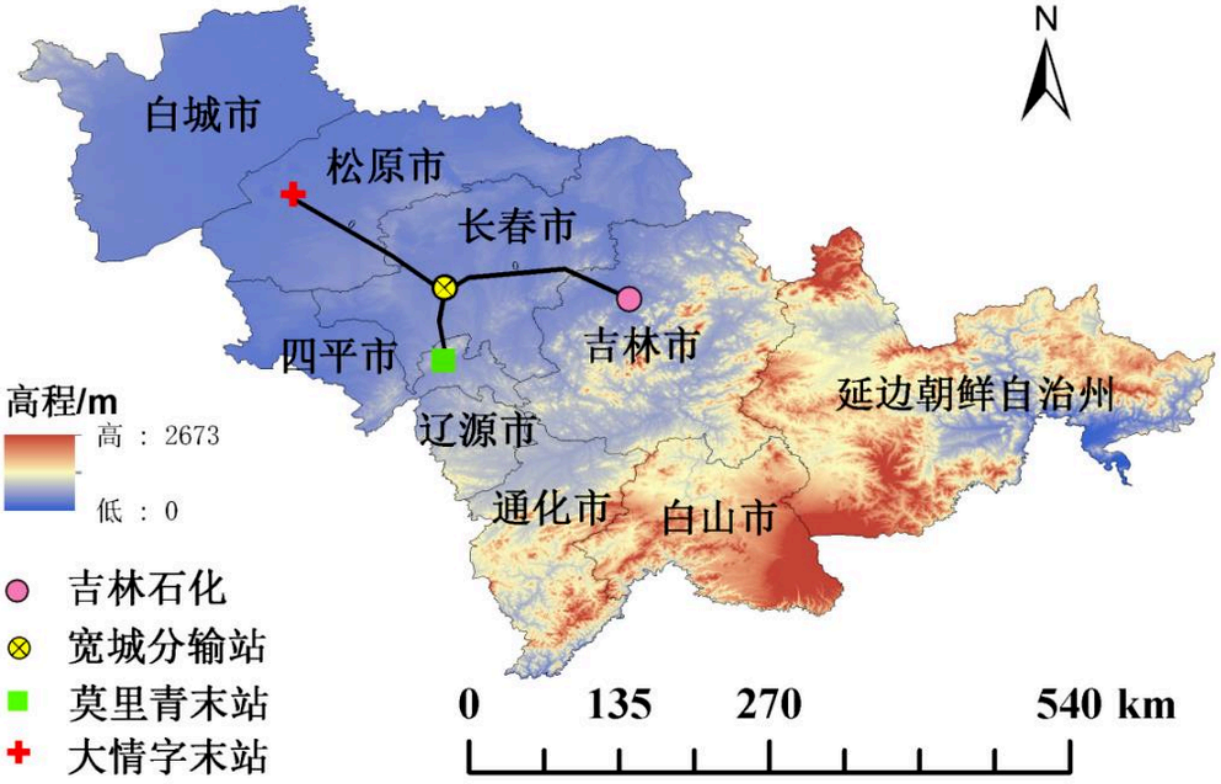
大庆油田$CO_2$管道碳源来自大庆石化和中油电能，经过捕集、脱水、增压后$CO_2$体积分数达到99.9%。其中大庆石化-敖南注入站的主线管道分为两段（图3），分别为长9 km的厂际管道及长118 km的干线管道，管径分别为300 mm及200 mm，设计输量分别为140万t/a及60万t/a；支线中油电能 - 卧里屯首站管道长15 km，管径200 mm，设计输量60万t/a。所有管道均采用超临界$CO_2$状态输送，设计压力14.5 MPa，进口温度50 ℃。




(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/12aacc6dd7d7f921ce92da8ac1438c04.jpg)

**图3 大庆石化-大庆油田$CO_2$管道走势图**

吉林油田$CO_2$管道气源来自吉林石化，干线至宽城分输站由两条支线分输至大情字末站及莫里青末站（图4），经过捕集、脱水、增压后$CO_2$体积分数达到98%。干线和两条支线管道分别长127 km、131 km及115 km，管径分别为450 mm、400 mm及250 mm，设计输量分别为410万t/a、330万t/a及80万t/a。采用超临界$CO_2$状态输送，首站出站压力为14.5 MPa，出站温度50 ℃。




(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/49598f0ee1ea297b3bafedca1e0443b0.jpg)

**图4 吉林石化-吉林油田CO2管道走势图**

## 2 中国超临界$CO_2$管道输送技术进展

### 01相特性及管输工艺

#### 1物性及相特性

由于$CO_2$排放源的$CO_2$含量无法满足管输要求，管输之前需要进行$CO_2$捕集提纯，采用的捕集方法不同，管输介质所含杂质种类及组成也不同。

目前碳捕集方法大致分为：富氧燃料燃烧法（$CO_2$体积分数75.00%~99.95%）、预燃烧法（$CO_2$体积分数95.0%~99.7%）及后燃烧法（$CO_2$体积分数99.7%~99.9%）。

常见杂质按照极性与非极性划分，分别是：极性杂质SOx、NOx、$H_2S$；非极性杂质Ar、CO、$N_2$、$H_2$、$O_2$、CH4。研究表明，杂质的增加对$CO_2$管输工艺及管输设备影响极大，包括改变临界压力与临界温度，使$CO_2$的气液两相区面积增大，相同运行条件下更易发生相变；杂质的存在将降低$CO_2$的质量输送效率，影响管路压降及压缩机工作状态；不同杂质会对$CO_2$管道带来不同风险，SOx、NOx、$H_2S$、CH4、$H_2$等杂质部分具有毒性，部分可能导致腐蚀、水合物堵塞及氢脆等，同时影响泄漏发生后$CO_2$的减压波特性及焦耳-汤姆逊效应。

因此，$CO_2$相特性及物性的计算准确性是开展$CO_2$管道设计、安全风险评价及完整性管理的基础前提。

目前计算纯$CO_2$物性与相特性最精准的方法是使用Span-Wanger状态方程，而对于$CO_2$混合物体系，Kunz和Wagner提出的GERG-2008状态方程更适用，中国学者对于其他状态方程在$CO_2$混合物相特性及物性计算方面也做了适应性分析评价。

然而，含杂质$CO_2$体系的相平衡特性实验数据尚不足以支撑改进当前计算模型，亟需开展多杂质体系的CO2混合体系相平衡实验，验证并修正现有状态方程，为管输工艺计算提供准确的物性及相特性数据。

2管输工艺

$CO_2$管输工艺水力热力参数的精准计算可以在保证安全设计的前提下节省建设投资，这就对$CO_2$相特性、物性及水力热力计算精度提出了较高要求。中国石油大学（华东）李玉星教授团队建立了超临界CO2管道稳态水力计算理论模型，被纳入SH/T3202—2018《$CO_2$输送管道工程设计标准》，并在齐鲁石化$CO_2$管道设计中得到应用与验证。

在实际运行过程中，会时常发生投产、停输再启动、开关泵站和清管等瞬态工况，此时管内温度压力的变化规律尚不明确，相比稳态输送其危险性更大。

中国对于$CO_2$瞬态管输过程的模拟方法及工具手段仍处于探索研究阶段，当前$CO_2$管道工艺流程及稳态瞬态计算均依赖于OLGA、Ledaflow、Hysys和Fluent等商业化软件，缺乏自主研发的理论计算模型，导致软件国产化及标准制定迟滞不前。

02管道安全

$CO_2$管道运行过程中，腐蚀穿孔或第三方破坏可能引发管道泄漏等安全问题，对管道设计、管道材料选择及完整性管理提出了挑战，亟需针对管道腐蚀、泄漏扩散、裂纹扩展等问题及适用性管道材料、设备开展深入研究。

1腐蚀

$CO_2$管道腐蚀控制取决于压力、温度等工作参数以及$H_2O$、$H_2S$、$O_2$和$SO_2$等杂质含量，其中含水量是最重要的腐蚀影响因素指标。目前，中国石油大学（华东）、华北电力大学及北京科技大学等针对X65、X70、X80管材，开展了高压、高温条件不同杂质及含量下超临界$CO_2$腐蚀特性研究。

针对含水量对内腐蚀的影响研究表明，随着含水量升高，均匀腐蚀速率升高，而点蚀是超临界$CO_2$管道内腐蚀的主要腐蚀行为。

SOx、NOx、$H_2S$、$O_2$等气体杂质，除$O_2$外，其他酸性气体杂质的腐蚀过程均由电化学反应主导，通过溶于析出液膜中形成酸加速阴极、阳极反应而促进电化学腐蚀。在多杂质耦合对内腐蚀影响机理方面，相比仅存在$O_2$的情况，同时存在$O_2$、$SO_2$、$H_2S$时腐蚀情况更加严重，说明杂质之间存在协同作用，需进一步开展实验研究建立腐蚀理论模型，明确多元杂质的协同作用腐蚀机理。

2泄漏扩散

$CO_2$是一种无色无味且无毒的气体，但具有极强的窒息性。在国家职业卫生标准GBZ2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》中明确了$CO_2$是会引起窒息性疾病甚至死亡的气体，并规定了工业工作环境$CO_2$的加权平均容许浓度（PC-TWA）为9000 mg/m³，即体积分数0.5%。因此，$CO_2$管道泄漏之后的扩散规律，是安全风险评估及制定相关标准、应急处置方案的重要理论基础。

目前国外仅有DNV开展过工业级的$CO_2$管道泄漏扩散实验，并以实验数据结合理论模型研发了Phast商业计算软件。在中国，中国石油大学（华东）李玉星教授团队、大连理工大学喻健良教授团队等搭建了$CO_2$泄漏扩散实验装置，开展了$CO_2$泄漏扩散规律实验，分析了泄漏孔径、初始温度、初始压力等参数对泄漏扩散规律的影响，但关于杂质尤其像H2S等毒性杂质的扩散规律有待进一步研究。

$CO_2$泄漏扩散实验的时间成本、硬件成本及危险程度很高，且特殊场景或天气条件等在实验中很难复现，因此许多学者探索使用Phast、Fluent等商业软件进一步开展$CO_2$泄漏扩散模拟分析。同时，$CO_2$具有极强的焦耳-汤姆逊效应且发生相变，如果不能很好控制泄放速率，泄漏或放空后在管内会造成-79℃左右的低温，而工程上$CO_2$管道常采用X52或X60等管线钢，其韧脆转变温度一般在-30~-60℃之间，泄漏产生的低温对管材的韧性水平提出极大挑战。

总体来说，泄漏扩散会带来两个问题：① $CO_2$及危险杂质的危险浓度扩散范围；② 管内低温效应的影响范围。目前中国学者虽然利用软件对这两个问题进行了模拟研究，但终究缺乏实验数据验证支撑，无法为工程设计、标准制定提供足够的定量指导。

## 3 减压波与韧性止裂

CO2管道发生泄漏后不仅会造成管外风险，管内$CO_2$在降压过程中产生的减压波也会使管内维持较高的压力水平，为裂纹扩展提供能量，导致裂纹持续扩展无法止裂。因此，$CO_2$减压波及韧性止裂研究是$CO_2$管道安全设计、风险评价及完整性管理的重点和难点。

减压波特性是$CO_2$管道裂纹扩展的根本原因，目前国内外开展了一些$CO_2$减压波实验研究以明确$CO_2$减压波的机理及影响因素。国外尤其是欧洲和美国，较早开展了$CO_2$减压波实验，代表团队有Botros和Cosham。

到目前为止，中国开展了4次$CO_2$减压波实验，其中大连理工大学的喻健良教授团队在2016年搭建了管径273 mm、壁厚20 mm、长258 m的$CO_2$管道泄放实验装置，并开展了3次气相、密相及超临界相的减压波实验。中国石油大学（华东）的李玉星教授团队在2023年搭建了管径219 mm、壁厚16 mm、长22 m的$CO_2$管道泄放实验装置，并开展了气态$CO_2$减压波实验。

减压波预测模型以挪威船级社（DNV）及英国国家电网最初建立的DECOM模型为代表，中国有学者以此为基础对模型进行改进，并针对不同因素开展了大量分析。为更精确地探究减压波规律，部分学者采用了更准确的计算流体力学软件采用高精度状态方程描述$CO_2$物性并对减压波实验进行模拟，取得了很好的效果，为后续开展$CO_2$泄漏等快速减压过程模拟提供了研究方法。

有了$CO_2$减压波的研究基础，国内外先后开展了难度更高的$CO_2$管道全尺寸爆破试验，以研究管道的裂纹扩展规律及止裂性能。到目前为止，国外共开展了12次$CO_2$大规模全尺寸爆破试验，中国在2022年开展了3次全尺寸爆破试验，而在此之前，中国在天然气管道建设过程中也积累了一定全尺寸爆破试验经验。

2015年，中国石油天然气集团有限公司在新疆哈密建立了天然气管道全尺寸爆破试验场，开展了管径1422 mm、压力16 MPa及管径1219 mm、压力20 MPa两种管径与压力等级的天然气管道全尺寸爆破实试验，解决了全尺寸爆破试验中安全可靠的起爆方式设计、初始裂纹设计、试验管道长度设计、关键数据采集设计及止裂评价模型的应用等关键技术难题，为现在$CO_2$管道全尺寸爆破试验提供了方法及理论基础。

2023年5月，国家石油天然气管网集团有限公司开展了1次全尺寸爆破试验（图5），选用X65管线钢管，管径324 mm、壁厚7.2 mm，试验压力12 MPa，管输介质组成为95%$CO_2$、4%$N_2$、1%$H_2$。

(/d/file/dhTJDAOHANG/fhjs/jishuyingyong/2024-12-06/9b91f570a675724176526cdc671bd7a6.jpg)

**图5 $CO_2$管道全尺寸爆破试验爆破前（左图）后（右图）对比**

2023年8月，中国石油天然气集团有限公司以管径324 mm、壁厚7.2 mm，初始条件为13.6 MPa、24℃的含N2与Ar的CO2混合物开展了1次全尺寸爆破试验。

两次试验获得了减压波速、裂纹扩展速度及相同管径、壁厚下的不同夏比能的韧性止裂结果，并与ISO27913-2016《二氧化碳捕获、运输和地质储存.管道运输系统》和巴特尔双曲线（BTC）模型计算结果分别进行对比分析及止裂韧性评价，这是中国在CO2管道工程上取得的突破性进展，为中国CO2管道韧性止裂风险评价及相关标准制定奠定了数据基础。

此外，大连理工大学喻健良教授团队搭建了管径106 mm、壁厚4 mm、长16.7 m的小型CO2全尺寸爆破试验装置，通过加热超压的方式实施爆破控制，爆破时的压力为8.82 MPa，温度为35.5℃，为中国小规模CO2管道爆破试验做出了探索性尝试。

工业级的$CO_2$全尺寸爆破试验成本高，数据采集难度高，准备周期长，因此，学者们开始探索数值模拟方法，目前中国已有学者成功针对天然气管道全尺寸爆破进行流固耦合的裂纹扩展模拟。但是，由于$CO_2$物性及相特性较复杂，该模拟方法用于$CO_2$管道尚需改进。

在韧性止裂模型方面，BTC、日本高强度管线钢管委员会（HLP）、DNV等止裂评价模型仅适用于大口径及高钢级管道的止裂预测，对于百万吨级小口径、低钢级$CO_2$管道的适用性有待验证，而且目前实验数据稀少，无法对模型提出实质性改进。后续亟待开展小口径、低钢级$CO_2$管道全尺寸爆破试验，为建立和修正止裂模型提供数据支撑。

4管道材料

$CO_2$管道材料面临溶解萃取、腐蚀、泄漏低温、韧性断裂等风险难题，因此选择管材及密封材料需要考虑以下因素：

① 超临界$CO_2$作为工业溶剂的溶解性极强；

② 当液态水存在时，$CO_2$与$H_2S$会部分溶解造成管道及设备腐蚀；

③ 当管道发生泄漏而压力、温度同时骤降时，管道材料长时间处于低温下（-79 ℃）存在脆性断裂风险；

④ $CO_2$管道相比天然气管道更易发生快速扩展的韧性断裂，对材料的断裂性能要求更高。

根据中国钢管生产厂家的数据，X52、X60、X65及X70钢管的韧性分布在107~441 J之间，目前正在研发适用于超临界$CO_2$管道的钢管材料。此外，X52、X60、X65及X70钢管的韧脆转变温度在-30~-60℃之间，而CO2泄漏或放空过程管内温度可降至-79℃，因此，对于$CO_2$管道材料，除考虑止裂韧性外，还需考虑预防低温脆断的能力。

5管道设备

相比油气管道，超临界$CO_2$管道输送增压设备的增压范围更宽，可达25 MPa；增压相态更复杂，包括气相、密相、超临界相等相变过程；增压形式更多样，如压缩机+泵增压形式；选材更苛刻，需要应对低温、腐蚀、低润滑性等；级间温度控制更严格等。

通常往复式压缩机对于小排量更经济适用，离心式压缩机对于大排量更经济适用。一般情况下，对于超临界$CO_2$管道输送，压缩机类型需要根据项目实际进口流速及出口所需压力来确定，当压缩机入口实际体积流量低于1000 $m^3/h$时，适于选择往复式压缩机；当压缩机入口实际体积流量高于1000 $m^3/h$，适于选择离心式压缩机。

在压缩机方面，中国的沈阳透平机械股份有限公司、西安陕鼓动力股份有限公司在$CO_2$电驱离心式压缩机技术领域拥有比较丰富的经验。2022年，沈鼓集团股份有限公司设计制造的全国首台百万吨级$CO_2$离心压缩机试车成功并在齐鲁石化CCUS项目中正式投用。2021年，中国船舶集团七一一所提供的两台$CO_2$压缩机在海南福山油田CCUS项目中投产运行，年处理$CO_2$达到9万吨。

在柱塞泵方面，中国的宁波合力机泵有限公司设计制造了$CO_2$注入泵，相关系列泵为三柱塞、五柱塞单作用卧式柱塞泵，进口压力1.5~7.0 MPa，出口压力10~50 MPa，泵前端配合喂液泵使用。该系列泵额定排量相对离心泵通常偏小，最大排量约200 $m^3/h$，主要在江苏油田、吉林油田等$CO_2$驱油区块使用，配合碳捕集封存及提高油田采收率（CCS-EOR）应用于小规模液态$CO_2$注入的油田开发项目。

在计量方面，$CO_2$在超临界及密相流条件下，科里奥利质量流量计的测量受气液解耦作用影响而产生负误差，受流体可压缩性影响而产生正误差，同时杂质对质量流量计的影响也较大。此外，孔板流量计只适用于单相介质的测量且压力损失较大，文丘里流量计压力损失较

小、设计简单、制造成本较低，但需要较长的上游直管段，相对而言，差压式流量计被认为更适用于CCS过程。

## 03仿真软件及标准规范

### 1仿真软件

目前国内外认可度较高的行业商业计算软件有OLGA、Ledaflow、Hysys、Phast、Fluent等。OLGA和Ledaflow属于同一类软件，均针对不同工况管内参数的瞬态及稳态计算，工程设计中OLGA使用频率更高，Ledaflow仅作OLGA计算结果的参考对比之用，目前两款软件对于$CO_2$管道瞬态计算的适用性评价尚无明确定论。

Hysys内置了丰富的状态方程，包括SW及GERG2008等高精度状态方程，其优势在于精准的物性及相特性计算能力，以及与化工流程计算及多软件协同优化仿真能力。尽管Hysys也兼具常见水力热力计算能力，但与OLGA、Ledaflow相比不是强项，在$CO_2$管道初设阶段的水力热力计算中可作为对比验证手段。

Phast是DNV由基于大量实验数据构建的半理论半经验公式组建而成，内置了常见的物性状态方程及化工材料库，其中包括CO2材料及PR状态方程。对于$CO_2$泄漏扩散的模拟是基于统一色散模型（UDM）及DNV开展的大量$CO_2$扩散实验数据构建的经验关联式，中国已有学者对其进行了准确性验证，整体来看，Phast对$CO_2$泄漏远场扩散浓度的模拟结果较准确，但较大幅度低估了近场$CO_2$峰值浓度。

Fluent是非常成熟的计算流体力学流场分析软件，通过其他软件对几何模型进行二维或三维的网格离散，Fluent将控制方程在网格中进行有限体积求解，进而得到每个时刻的全部物理场参数。该软件的强大之处在于其具有高度的自定义函数功能，可以植入相变模型及高精度状态方程。国内已有学者探索出准确模拟$CO_2$泄漏的模拟方法。

综上可见，这些软件的适用范围不同，OLGA、Ledaflow、Hysys适用于管输水力热力计算，其中OLGA、Ledaflow适用于瞬态的水击停输及投产等工况。Phast则专注于管外的泄漏扩散，适用于$CO_2$管道的安全风险评估。Fluent近乎兼具上述功能，但因其离散及求解特点，对于工业级模型计算的硬件及时间成本极高，不适合长距离管道的流动模拟分析。在实际应用中，需要根据计算需求及周期合理选择计算软件。

### 2标准规范

国外尤其是欧美国家在$CO_2$管道建设及运行方面实践经验丰富，但与油气管道相比，世界范围内$CO_2$管道建设数量仍然较少，而且国际上针对$CO_2$管道输送的标准并不统一，相关标准多涵盖在通用液体管道输送标准中。

目前，$CO_2$管道设计、运行及管理标准的制定主要由国际标准化组织（ISO）及DNV主导。随着中国“双碳”目标任务持续推进，作为CCUS产业链重要环节的$CO_2$管道规划建设势在必行，但当前缺乏完整的$CO_2$管输技术标准体系。

目前中国仅有SH/T3202—2018《二氧化碳输送管道工程设计标准》及GB/T42797—2023《二氧化碳捕集、输送和地质封存管道输送系统》对陆上$CO_2$管道工程的设计与施工提出了要求。

为加快完善CCUS标准体系建设以推动CCUS技术发展与应用，国家管网集团研究总院建立了覆盖超临界$CO_2$管道全生命周期标准体系，发布19项超临界$CO_2$管道工程建设核心企业标准，立项《进入长输管道二氧化碳介质质量要求》国家标准。

此外，中国石油集团石油管工程技术研究院及大庆油田设计院等单位，也在$CO_2$管道基础共性、立项设计、建设验收、运行维护及完整性管理等方面积极筹备修订现有标准或起草新标准。

## 3中国$CO_2$管道未来规划、技术需求与展望

### 01未来规划

中国适宜开展CCUS的大型$CO_2$排放源地域特点明显，主要分布在华东、华北、华中等地区，以火电厂、钢铁厂、水泥厂等为代表的大型固定$CO_2$排放源是未来部署$CO_2$捕集技术的主要对象。

中国适宜开展$CO_2$地质封存与利用的碳汇分布同样表现出极强的地域特点，主要环绕渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、南华北盆地、四川盆地等区域，将$CO_2$用于油田强化驱油或进行地质封存。

中国碳源和碳汇的空间错位分布格局对规划建设CCUS专用$CO_2$管道等基础设施、提升源汇匹配水平提出了更高要求。在碳中和目标约束下，CCUS技术未来减排需求将快速增长，随之而来的规模化发展势必对长距离$CO_2$专用运输管网及其配套基础设施建设提出新要求。科学合理的源汇匹配可以有序规划$CO_2$管道，缩短不必要的运输距离，从而降低运输成本，为CCUS的产业化和规模化提供必要支撑。

因此，中国在未来的$CO_2$专用运输管网规划中，应该以碳汇的位置及需求量为中心目标，对周围碳源体量及质量进行调研，以兼顾建设成本及环境安全为原则，规划相匹配的管网布局。在2030年碳达峰前，需要完成多项示范工程的落地投产运行，并以此作为区域$CO_2$管网的干线核心，向周边其他碳源辐射，使$CO_2$管道成为连接碳源和碳汇的关键纽带及实现CCUS的最大助力。

### 02技术需求

中国$CO_2$管道的关键技术亟待发展，以打通工程化应用的“最后一里路”。其中，相特性测量及计算模型的改进是一切其他科研及设计工作的基础，有了物性的准确描述手段，才能在经济成本及安全两方面找到平衡，对$CO_2$管输工艺进行优化设计。针对腐蚀、泄漏、韧性止裂及管材研发等问题的研究，是保障$CO_2$管道安全运行的关键。

为实现2030年碳达峰，就必须于2030年之前，在全国范围内建设数条百万吨级$CO_2$示范管道，形成区域规模化CCUS工程CO2运输网络。目前，中国对$CO_2$管道输送关键技术需求主要包括3个方面：

① 迅速搭建中试规模实验平台，在相特性、管输工艺、管道安全等方面开展大量验证性实验，推动相关理论、模型及技术的工程示范应用；

② 以实验为基础，在现有理论模型上，根据中国碳源特点，建立精准的物性相特性计算模型、水力热力计算模型、瞬态模型及减压波韧性止裂模型，形成一套完整的国产化$CO_2$管道输送工艺及安全计算软件；

③ 以上述研究为理论指导，在管道立项、基础设计、建设验收、运行维护及完整性管理等方面建立一套完整的$CO_2$管道规范体系。

此外，当前中国$CO_2$管道技术发展基础薄弱，且$CO_2$管道建设周期长、投资大，由于“双碳”目标下碳减排任务艰巨、时间紧迫，因此油气管道改输$CO_2$成为另外一条发展路径，其可行性体现在3个方面：

① 部分油气管道设计压力在10 MPa以上，满足超临界及密相$CO_2$管输承压；

② 管径多在300 mm以上，可以满足百万吨的年输量需求；

③ 管材钢级多在X70以下，韧性止裂性能良好。

因此，油气管道具有较好的改输$CO_2$的条件，目前亟待开展在役管道改输$CO_2$的关键要素分析、管材强度及寿命预测、设备适应性、高后果区再识别等研究，形成在役管道改输$CO_2$的适应性评价方法及流程。

03展望

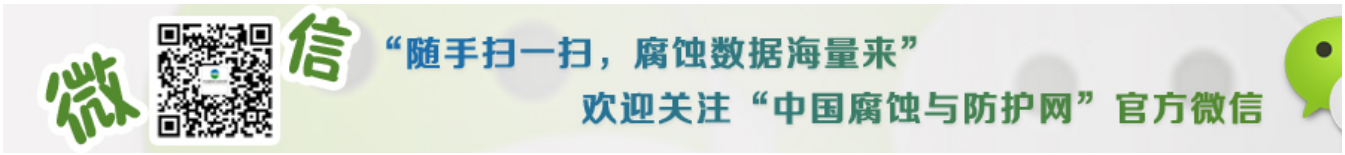
（1）中国$CO_2$管道工程发展历史较短、工业示范工程少、规模小，齐鲁石化-胜利油田百万吨CCUS示范工程的投产运行奠定了中国$CO_2$管道建设的新起点。规划中的百万吨百千米大型$CO_2$管道工程有大庆石化-大庆油田、吉林石化-吉林油田及正宁电厂-长庆油田3条管道，其有力推动了中国的石油企业及高等院校等科研团体对$CO_2$管道技术的深入系统研究。（2）中国$CO_2$管道技术目前处于起步发展阶段，在$CO_2$管道多项关键技术上缺乏大规模实验研究基础。未来需要在$CO_2$相特性、管道工艺及管道安全等方面加大投入力度，迅速建设中试规模的实验平台，为理论模型的建立提供数据基础，以加快推进软件的国产化及标准规范的系统化。（3）中国的碳源、碳汇分布呈现明显的空间错位特点，且碳汇主要用于油田强化驱油或进行地质封存，这对$CO_2$管道配套基础设施建设及优化碳源碳汇匹配提出了更大挑战。未来需要以碳汇的地理位置及需求量为目标，在全国范围内形成以区域CCUS项目为中心的百万吨级$CO_2$示范管道干线网络。在碳达峰之后根据全国碳源情况，综合经济、安全及环保等因素有序规划支线管道，或合理利用油气管道改输，逐渐形成多区域连接的$CO_2$管道网络。

作者：张对红，李玉星

来源：油气储运

免责声明：本网站所转载的文字、图片与视频资料版权归原创作者所有，如果涉及侵权，请第一时间联系本网删除。

标签： (/e/tags/?tagname=)




相关文章

无相关信息

官方微信

**《腐蚀与防护网电子期刊》征订启事**

投稿联系：**编辑部**

电话：**010-62316606**

邮箱：**fsfhzy666@163.com**

腐蚀与防护网官方QQ群：**140808414**

## 文章推荐

英北海油气管道因腐蚀泄露 业内危机感加... (/news/science/2013-09-17/340.html)

防治船舶锚链锈蚀损坏简便易用方法... (/news/science/2013-09-17/339.html)

腐蚀环境对暖气片性能的影响... (/news/science/2013-09-17/338.html)

防腐蚀材料多数易燃易爆 注意远离明火... (/news/science/2013-09-17/337.html)

## 点击排行

1 侯保荣院士：“腐蚀调查”为防腐新技术推广应用打响第一炮 (/dhTJDAOHANG/yjsd/gaoduanfa… 9418

2 一文读懂高熵合金 (/news/science/2020-12-22/178566.html) 8719

3 2021年度全国『杰青优青』最新立项名单汇总发布！ (/news/industry/2021-09-13/181492.html) 8022

4 2021年各省市杰青优青拟立项最新名单：近千人入选！ (/news/industry/2021-08-09/181092.… 7749

5 2021年度全国『杰青、优青项目』评审立项最新名单 (/news/industry/2021-06-15/180417.html) 7035

6 全名单！新一轮院士增选，这些院士候选人或将当选！ (/news/industry/2023-03-27/187401.h… 6487

7 专家讲座2：断裂失效分析之金属断裂的微观机理与典型形貌 (/news/science/2021-01-21/178… 6352

8 （神器+干货）EBSD技术在材料科学研究中的妙用 (/news/industry/2019-06-26/174374.html) 6264

## PPT新闻

(/dhTJDAOHANG/kepuzhuanlan/kepuppt//1482481295631.html)

**“海洋金属”——钛合金在舰船的**

(/dhTJDAOHANG/kepuzhuanlan/kepup

点击数：9924

(/dhTJDAOHANG/kepuzhuanlan/kepuppt//1460946556147.html)

**腐蚀与“海上丝绸之路”**

(/dhTJDAOHANG/kepuzhuanlan/kepup

点击数：7766

联系我们 (http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/xinxiziyuan/qita/2015-10-28/6321.html) | 法律法规 (http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/xinxiziyuan/qita/2013-06-19/4842.html) | 版权声明 (http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/xinxiziyuan/qita/2014-06-07/5680.html) | 检测服务 (http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/shiyanziyuan/jiancefuwu) | 环试服务 (http://www.ecorr.org/dhTJDAOHANG/shiyanziyuan/huanshifuwu) | 电子期刊 (http://www.ecorr.org/custom/kpqk.html) |

Copyright © 1996-2021 ecorr.org.cn , All Rights Reserved

版权所有：中国腐蚀与防护学会

京ICP备13025191号-6 (http://beian.miit.gov.cn/)